

Влияние старения на структуру и фазовый состав высокоазотистой аустенитной стали

Тумбусова Ирина Алексеевна¹

Национальный исследовательский Томский политехнический университет¹

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН²

Астафурова Елена Геннадьевна, д.ф.-м.н.²

Майер Галина Геннадьевна, к.ф.-м.н.²

tumbusova031098@mail.com

Коррозионостойкие хромоникелевые стали широко применяются в современном машиностроении благодаря своей высокой статической и циклической прочности. Главным недостатком таких сталей является их высокая стоимость. Высокоазотистые аустенитные стали (ВАС), полученные на основе системы Fe-Cr-Mn-N, являются бюджетным аналогом никельсодержащих сталей. ВАС выгодно отличаются от традиционных материалов уникальным сочетанием прочности, пластичности и ударной вязкости. ВАС тоже не лишены недостатков – из-за многообразия возможных структурных и фазовых состояний возникает необходимость подбора режимов термообработки для получения необходимых характеристик прочности и пластичности [1-2].

В работе исследовали влияние температуры и продолжительности старения на фазовый состав и микроструктуру высокоазотистой аустенитной стали Fe-23Cr-17Mn-0,1C-0,6N, мас. %. С целью получения аустенитной структуры образцы подвергли закалке в воду после 30 минутной выдержки при температуре 1200°C. Старение закаленных стальных образцов выполняли в среде гелия при температурах 600°C, 700°C и 800°C с продолжительностью выдержки от 10 минут до 50 часов.

В исходном состоянии после закалки исследуемая сталь имела структуру азотистого аустенита γ_{N1} -Fe с параметром решетки $a=3,629\text{\AA}$, а также содержала 25% δ -феррита с параметром решетки $2,88\text{\AA}$. Появление ферритной фазы после закалки обусловлено высоким содержанием Cr в составе стали. С помощью рентгенофазового анализа установили, что старение при температуре 600°C до 5 часов не приводит к изменению фазового состава стали. Старение более 5 часов при температуре 600°C приводит к появлению в составе стали интерметаллидной σ -фазы, высокоазотистого аустенита, нитридов хрома $Cr_2(N,C)$ и обедненного аустенита по атомам внедрения. При таких режимах старения происходит распад высокотемпературного δ -феррита на интерметаллидную σ -фазу и высокоазотистый аустенит. Помимо формирования мелкозернистых σ -фазы и высокоазотистого аустенита в бывших зернах δ -феррита, на ПЭМ изображениях наблюдали образование ячеек распада на границах аустенитных зерен в результате образования нитридов хрома $Cr_2(N,C)$ по прерывистому механизму. При этом фронт реакции прерывистого распада распространяется от границы к центру аустенитного зерна постепенно заполняя его объем. Распад зерен δ -феррита и азотистого аустенита γ_{N1} -Fe реализуется быстрее при более высоких температурах. Так, непродолжительная выдержка при температурах 700°C (30 мин.) и 800°C (10 мин.) приводит к практически полному распаду δ -феррита, появлению σ -фазы и нитридов хрома Cr_2N . Независимо от продолжительности старения при температурах 700°C и 800°C в структуре стали присутствовала небольшая доля ферритной фазы, но ее объемное содержание составляло менее 5 %. Наличие ферритной фазы после старения аустенитной стали может быть связано как с распадом аустенита и образованием феррита в обедненных по азоту областях аустенитной структуры, так и с присутствием остаточного δ -феррита, не претерпевшего фазовый распад при старении. Согласно данным рентгеноструктурного анализа старение исследуемой ВАС при температурах 600°C, 700°C и 800°C сопровождается следующей последовательностью фазовых превращений: γ_{N1} -Fe+ δ -феррит (до старения) \rightarrow σ -фаза+ γ_{N2} -Fe+ $Cr_2(N,C)$ + γ_{N1} -Fe + δ -феррит (после старения).

На металлографических изображениях после старения при температурах 600°C, 5 ч.; 700°C, 0,5 ч. и 800°C, 10 мин. наблюдали формирование смешанной структуры, состоящей из зерен, претерпевших фазовый распад (зерна с повышенной травимостью) и зерен, в которых фазовый распад не произошел (зерна с низкой травимостью). При температуре старения 600°C распад протекает медленно: объемная доля зерен (V), претерпевших фазовый распад, увеличилась с 25% (0,5 ч.) до 32% (50 ч.). С увеличением температуры старения до 700°C и 800°C скорость распада и объем превращенного материала возрастают: от 33% (после 0,5 ч) до 54% (после 50 ч.) и от 28% (после 10 мин) до 52% (после 10 ч), соответственно. После 50 часов старения при температуре 800°C наблюдали однородный затрав во всех зернах, но согласно данным рентгенофазового анализа даже после 50 часов выдержки распада аустенита γ_{N1} -Fe не завершен.

Авторы благодарны Гальченко Н.К. за помощь в подготовке материала для исследования. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-19-01197).

Список публикаций:

[1] Казаков А.А., Орыщенко А.С., Фомина О.В., Житенев А.И., Вихарева Т.В. Управление природой δ -феррита в азотосодержащих хромомарганцевых сталях // Вопросы материаловедения. 2017. № 1 (89). С. 7 – 21.

[2] Банных О.А., Банных И.О. Металловедческие особенности и перспективы применения высокоазотистых аустенитных сталей // ИМЕТ РАН. 2018. С. 240 – 253.